



CONSEJO DE RECURSOS MINERALES

TEXTO GUÍA CARTA MAGNÉTICA "NACOZARI" H12-6

ESCALA 1:250,000

POR: Ings. César Alam Hernández
Julio Vélez López
Israel Hernández Pérez

MÉXICO, 2000

SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL COORDINACIÓN GENERAL DE MINERÍA

• Editado por el Consejo de Recursos Minerales. Primera Edición 2000. © Derechos Reservados.

ÍNDICE

RESUMEN

	Página
INTRODUCCIÓN	1
I INFORMACIÓN AEROMAGNÉTICA	1
I.1 Fuentes de Información	1
I.2 Parámetros y Equipo Utilizado en el Levantamiento	1
I.3 Procesamiento de Datos	2 2 2 2 2
I.4 Características de la Carta Magnética	3
II SÍNTESIS GEOLÓGICA	3
III DISCUSIÓN DE LA INTERPRETACIÓN REGIONAL	5
III.1 Dominios Magnéticos III.1.1 Dominio Magnético A ₁ III.1.2 Dominio Magnético A ₂ III.1.3 Dominio Magnético B ₁ III.1.4 Dominio Magnético B ₂ III.1.5 Dominio Magnético C	6 6 7 10 10
III.2 Lineamientos Magnéticos	11
III.3 Procesos Analíticos Realizados	11 11 12 12
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

	Página
Figura 1 Mapa de Localización	entre 1 y 2
Figura 2 Interpretación Magnética Litoestructural	entre 6 y 7
Figura 3 Mapa de Estructuras Profundas Filtro Pasa bajas de CMT Reducido al Polo	entre 11 y 12
Figura 4 Mapa de Estructuras Superficiales Primera Derivada Vertical del CMT Reducido al Polo	entre 12 y 13
Figura 5 Zonas prospectivas a partir de la Interpretación Magnética Litoestructural	entre 12 y 13
Tabla No. 1	8
Tabla No. 2 -	9

RESUMEN

El Consejo de Recursos Minerales realiza el Programa de Infraestructura Geológico-Minera, dentro del cual se lleva a cabo el cubrimiento aeromagnético sistemático de las áreas con mayor potencial minero en el territorio nacional, con el propósito de conocer las condiciones geológicas y estructurales del subsuelo, que ayuden a descubrir yacimientos minerales ocultos.

Dentro de este programa se llevó a cabo el levantamiento aeromagnético de la hoja Nacozari H12-6, a escala 1:250 000, con formato cartográfico del INEGI, la cual se localiza en la porción norte del estado de Sonora, cubre una superficie aproximada de 21,950 km², de los cuales un 30% corresponden a la parte noroeste del estado de Chihuahua y el 70% restante corresponde a la zona noreste del estado de Sonora.

El levantamiento aeromagnético de contorno, se realizó con avión durante los años de 1975, 1977 (mediante vuelos a 450 m sobre el nivel del terreno), 1982 y 1999 (con vuelos a 300 m sobre el nivel del terreno). La separación de las líneas fue de 1 000 m en todos los casos, con líneas de control a cada 10 000 m. Los datos magnéticos se presentan (en la carta magnética) como curvas de contorno de isovalores de Campo Magnético Total (CMT) corregido por IGRF, indicando su intensidad en contrastes de color.

En el año de 1998 el Consejo de Recursos Minerales publicó la carta geológico-minera y geoquímica Nacozari, elaborada en convenio de colaboración entre el Consejo de Recursos Minerales y la Universidad de Sonora, con la participación de los ingenieros: Palafox R. J. J., Minjarez S. I., Monreal S. R., Almazan V. E., Morales M. M., Ochoa L. L., Rodríguez T. R., Rivera E. B. Castro E. J. J., Zamora T. R. E.. En ella se establece que el basamento está constituido por una unidad de esquistos micaceos y gneisses de 1640 m.a., el cual es intrusionado por un cuerpo granítico de 1440 m. a. Sobre dichas unidades se depositaron una serie de rocas sedimentarias y volcánicas, algunas de ellas afectadas por intrusiones Cretácicas y Terciarias.

En la carta se presentan manifestaciones de diferentes eventos tectónicos, resultado de procesos geodinámicos que afectaron el noroeste de México, entre los que se mencionan: Orogenias Paleozoicas; Orogenia Mesocretácica; Orogenia Laramide; Un episodio de distensión durante el Terciario Medio-Tardío y la Neotectónica de distensión en tiempos mas recientes.

Los yacimientos minerales presentes en la zona, se pueden agrupar en tres regiones mineralizadas: La región de Nacozari, caracterizada por la presencia de yacimientos tipo pórfido cuprífero; la región de Esqueda se distingue por la abundancia de estructuras vetiformes, donde los elementos metálicos de importancia son: plata, oro, plomo, zinc y cobre. Finalmente, la región de Janos se caracteriza por el desarrollo de estructuras tipo veta con mineralización de plomo - zinc.

En la interpretación cualitativa de carácter regional que se presenta en este texto, se definieron 5 grupos de dominios magnéticos (A₁, A₂, B₁, B₂ y C), que indican la distribución de las principales unidades geológicas. De igual manera, se identificaron 3 sistemas de lineamientos magnéticos, los cuales presentan rumbos NW-SE, NE-SW y N-S, (e indican las principales fallas de origen profundo), así como un curvolineamiento magnético, el cual podría representar la respuesta de un centro volcánico, sirviendo de conducto para la extrusión de las unidades volcánicas presentes en esta zona y que son características de la Sierra Madre Occidental.

Como resultado de la interpretación regional del mapa aeromagnético, se seleccionaron 4 zonas prospectivas por mineralización polimetálica y preciosa, de las cuales 3 se asocian con algunos de los dominios A2 detectados, los cuales se interpretaron como cuerpos intrusivos sepultados y/o la continuación a profundidad de troncos que afloran parcialmente y en donde se tienen evidencias de mineralización. Por lo que se recomiendan para ser explorados, los límites de los cuerpos interpretados. La cuarta zona seleccionada (se ubican en la porción oriente de la carta), se definió como una depresión magnética de rumbo NW-SE, de aproximadamente 80 km de longitud, dicha franja correspondería aproximadamente al límite oriente de la región mineralizada de Nacozari (Palafox R. y otros, 1998a), caracterizada por la presencia de yacimientos tipo pórfido cuprífero, por lo que se sugiere la exploración de esta zona, con la finalidad de obtener mayores indicios sobre la posible existencia de depósitos minerales.

INTRODUCCIÓN

La dificultad cada vez mayor para la localización de los yacimientos minerales ocultos en el subsuelo, hace necesario el empleo de técnicas indirectas de exploración, como son: geofísica, geoquímica e imágenes de satélite, las cuales representan valiosas herramientas que deben utilizarse conjuntamente con la geología, para lograr encontrar yacimientos minerales de rendimiento económico.

El Consejo de Recursos Minerales, tiene entre sus funciones la misión de elaborar cartas geofísicas aeromagnéticas en las áreas con mayor potencial minero en el territorio nacional. La carta magnética Nacozari H12-6, escala 1:250 000, forma parte de una serie de publicaciones dentro de este programa, las cuales aportan información básica que permite fundamentar futuras exploraciones.

La carta Nacozari H12-6, escala 1:250 000 con formato cartográfico del INEGI, comprende una superficie de 21 950 Km², se localiza en la porción norte de la República Mexicana y cubre parcialmente los estados de Sonora y Chihuahua (Figura 1).

En la interpretación cualitativa de la carta se lograron definir a nivel regional, las expresiones magnéticas más evidentes como son: La distribución y configuración de las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, contactos litológicos ocultos y zonas de falla profundas.

I.- INFORMACIÓN AEROMAGNÉTICA

I.1.- Fuentes de Información

Para la elaboración de la carta magnética Nacozari fueron utilizados los datos de los levantamientos aeromagnéticos realizados por el Consejo de Recursos Minerales (C.R.M.), en los años de 1975, 1977, 1982 y 1999.

La información cartográfica básica se digitalizó a partir de la carta topográfica del INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1980).

I.2.- Parámetros y Equipos Utilizados en el Levantamiento

En los levantamientos de 1975, y 1977 se llevaron a cabo vuelos a 450 m de altura, sobre el nivel del terreno, con una separación entre líneas de 1 000 m, identificando las trayectorias de vuelo mediante navegación visual. El equipo empleado en 1975 consistió de un magnetómetro Barringer AM-104 de precesión de protones, con sensibilidad de 0.5 nT (nanoteslas), para el vuelo de 1977 se empleó un magnetómetro marca Geometrics G-803, con sensibilidad de 0.25 nT. En ambos casos se utilizó un sensor móvil instalado en un avión Islander modelo BN2-B27.

En el año de 1982, el levantamiento se realizó a una altura de 300 m sobre el nivel del terreno, la separación de las líneas de vuelo fue de 1000 m, identificando la trayectoria de las líneas de vuelo mediante navegación visual. En estos vuelos el equipo utilizado consistió en un magnetómetro Geometrics G-803 con sensibilidad de 0.025 nT, el cual estaba instalado en el avión Islander.

Finalmente, para el levantamiento realizado en 1999, la altura de los vuelos de contorno fue de 300 m, con líneas de rumbo N-S y separación de 1 000 m, empleando un sistema de navegación electrónica (GPS). El equipo utilizado fue un magnetómetro Geometrics G822-A de bombeo óptico a vapor de Cesio con sensibilidad de 0.001 nT en la versión de sensor fijo, instalado en un avión Islander modelo BN2-A21.

Por otra parte, resulta importante hacer mención del personal que participó en el levantamiento aeromagnético, así como en el procesado de la carta magnética:

- Ing. Carlos Anaya R.
- Ing. Justino Escamilla O.
- Ing. David Berrocal H.
- Ing. Guillermo Guzmán A.
- Técnico Miguel Rangel V.
- Técnico Maximino Cruz L.
- Piloto Jorge Peña G.
- Piloto Hugo Martínez S.
- Piloto Carlos Morales
- Mecánico Misael Vital
- Mecánico Jaime Guerrero T.
- Mecánico Jesús Martínez S.

1.3 Procesamiento de Datos

Para la integración de los datos y la generación de los mapas, se llevaron acabo las siguientes etapas:

1.3.1.- Integración de la Información Magnética

En el caso de la información de 1975, 1977 y 1982, fue necesario digitalizar los datos de mapas aeromagnéticos, siguiendo las trayectorias de vuelo para capturar las coordenadas UTM y el valor de la intensidad del campo magnético total (CMT).

Para los vuelos realizados en 1999, la información se transfirió directamente de la grabación digital del equipo aerogeofísico.

La información digital se integró y procesó mediante el software Geosoft, generándose una rejilla de datos con un tamaño de celda de 200 x 200 m. Los procesos que se aplicaron a la información magnética consistieron en corrección por variación diurna, líneas de control, corrección por movimiento del avión (compensación magnética) y micronivelación.

El equipo de computo empleado fue una PC marca Dell con procesador Pentium II, disco duro de 6 Gb, 128 Mb de memoria RAM y velocidad de 400 Mhz.

I.3.2.- Obtención de datos corregidos por el campo geomagnético

Según los datos del observatorio de Teoloyucan, México; obtenido para el período de 1923 a 1987, el campo geomagnético de la República Mexicana, ha decrecido en ese período aproximadamente 48.7 nT por año (Urrutia y Campos, 1993), lo que nos da una idea de la magnitud del cambio en el campo geomagnético que debe corregirse.

En el caso de la carta Nacozari H12-6, a los datos aeromagnéticos se les sustrajo el valor del IGRF (International Geomagnétic Reference Field) tomando en cuenta la posición geográfica del área, la fecha del levantamiento y la altura de vuelo.

Esta corrección se realizó utilizando los coeficientes del IGRF 1975, 1980 y 1995 adoptados por la Asociación Internacional de Aeronomía y Geomagnetismo (IAGA, División V, Working Group 8, 1992).

I.3.3.- Generación del mapa

Con la finalidad de obtener el mapa a escala 1:250 000 los datos de la carta magnética se integraron en un archivo de coordenadas X, Y y Z, empleándose el algoritmo de interpolación de Briggs (1974) de mínima curvatura. La generación de curvas de contorno se realizó con el software Arc/Info, empleando un regrid al tamaño de la rejilla de 50 x 50 m. El equipo utilizado fue una estación de trabajo Sun Ultrasparc II.

I.3.4.- Graficación

El desplegado gráfico se realizó en un graficador de inyección de tinta Hewlett Packard 755 CM.

Este mapa preliminar se utilizó para la interpretación y revisión de los valores magnetométricos previos a la edición e impresión final.

I.4.- Características de la Carta Magnética

La edición cartográfica de la carta magnética se efectuó con el software Arc-Info. Los intervalos de color de las curvas isomagnéticas se seleccionaron a cada 40 nT, indicando los bajos magnéticos en tonos de verde y azul y los altos en tonos rojos (como se indica en el espectro de valores de la carta), con la finalidad de visualizar fácilmente las anomalías dipolares, monopolares y los gradientes magnéticos. Las curvas de contornos se graficaron a cada 20 nT.

En la base cartográfica se indican las principales carreteras, ríos y ciudades. La carta está referida al sistema de coordenadas geográficas y a la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM).

En el presente texto se incluyen mapas tamaño carta y en presentación de imagen en relieve del campo magnético, para realzar los elementos que se describen.

II.- SÍNTESIS GEOLÓGICA

La síntesis geológica que se presenta a continuación se tomó del resumen del texto explicativo de la carta Geológico-Minera y Geoquímica Nacozari H12-6, elaborada en convenio de colaboración entre la Universidad de Sonora y el Consejo de Recursos Minerales. Por parte del Departamento de Geología de la Uni-Son, participó el siguiente personal: Palafox R. J., Minjarez S. I., Monreal S. R., Almazán V. E., Morales M. M., Ochoa L. L., Rodríguez T. R., Rivera E. B. y por parte del Consejo de Recursos Minerales: Castro E. J. y Zamora T. R. La carta fué publicada por el Consejo de Recursos

Minerales en el año de 1998, por lo que sí es necesario obtener mayor detalle de la información expuesta, se recomienda consultar directamente dicho texto en donde se ha desarrollado ampliamente la geología regional de la carta.

La carta se localiza en la porción norte del estado de Sonora, entre los municipios más importantes se encuentran: Nacozari de García, Villa Hidalgo, Fronteras, Bavispe y Baserac. Cubre una superficie aproximada de 21 950 km², de los cuales un 30% corresponde a la parte noroeste del estado de Chihuahua, mientras que el 70% restante corresponde a la zona noreste del estado de Sonora.

Fisiográficamente, la carta está comprendida dentro de la Provincia Sierra Madre Occidental, en las subprovincias de Barrancas (Altiplanicie Lávica) y de Sierras y Valles Paralelos (Sierras Alargadas) (Raisz, 1959).

El basamento lo constituye el Esquisto Pinal, definido por Ransome (1904), en el sureste de Arizona y compuesto de esquistos micáceos y gneises de edad de 1 640 m.a. (Ortega Gutiérrez y otros, 1992). Esta unidad está intrusionada por el Granito Las Mesteñas, que presenta una textura porfídica y al que se le asigna una edad de 1 440 m.a., por correlación con el Granito Cananea, fechado por Anderson y Silver (1977).

Sobre este basamento se encuentra una secuencia sedimentaria paleozoica de edad Devónico-Pérmico, que está conformada por las formaciones Martín, Escabrosa y Horquilla, constituidas por calizas y areniscas. Estas secuencias afloran en la Sierra de los Ajos y al sur del Cerro Las Mesteñas.

Después de un hiato que cubre desde el fin del Paleozoico hasta el Jurásico Superior, se depositó una secuencia de andesitas y areniscas del Cretácico Superior correlacionable con las presentes en el sureste de Arizona. Sobre este paquete se depositó el Grupo Bisbee (Ransome, 1904), compuesto por el Conglomerado Glance, caracterizado por conglomerados y areniscas; la Formación Morita, compuesta de areniscas de cuarzo y lutitas; Formación Mural formada por calizas y lutitas; y la Formación Cintura, caracterizada por areniscas de cuarzo, arcosas y calizas. El Grupo Bisbee, tiene un rango de edad desde el Jurásico Superior hasta el Albiano (Monreal, 1995), y se encuentra en afloramientos aislados en las sierras de Fronteras y Pilares de Texas.

Discordante sobre el Grupo Bisbee se encuentra el Grupo Cabullona (Taliaferro, 1931), conformado principalmente por areniscas de cuarzo y conglomerados. Su edad varía del Campaniano al Maestrichtiano (González, 1992). Esta unidad se presenta en afloramientos aislados en la parte oeste de la carta.

Discordantemente sobre el Grupo Cabullona se encuentra una secuencia de rocas volcánicas compuesta de paquetes de riolitas y tobas andesitas, riolíticas, tobas andesíticas y andesitas y areniscas de edad Cretácico superior al Paleogeno y que pudieran pertenecer al Complejo Volcánico Inferior de Mc Dowell (1978). Adicionalmente se emplazaron grandes cuerpos composición intrusivos de granítica granodiorítica y granodiorítica diorítica. En la etapa se emplazaron última intrusiones hipabisales de tipo porfídico y de composición monzonítica a cuarzomonzonítica y andesítica. Estas unidades se presentan principalmente en la mitad oeste de la carta.

Sobreyaciendo discordantemente a las unidades volcánicas, se depositó un conglomerado polimíctico y areniscas de edad Eoceno.

Discordantemente sobre este conglomerado, se depositó una gruesa secuencia caracterizada principalmente por andesitas, riolitas, basaltos e ignimbritas; que también incluye traquitas y tobas de diversa composición de edad Oligoceno (Cochemé, 1985). Esta secuencia ha sido

nombrada como el Supergrupo Volcánico Superior por Mc Dowell (1978) y forma grandes mesetas en las sierras de El Tigre y El Pinito y la Sierra Madre Occidental.

Sobre esta secuencia se encuentran los depósitos correspondientes a la Formación Báucarit, compuesta de conglomerados, areniscas y basaltos de edad Mioceno. Sobre ella yace una segunda generación de paquetes de conglomerados y areniscas que se consideran de edad Pleistoceno. Estas unidades se encuentran ampliamente distribuidas en los valles de la región. Finalmente en el Cuaternario se depositaron arenas y limos y algunos derrames de basalto. El aluvión reciente está compuesto de gravas, arenas y arcillas.

En la carta se presentan manifestaciones de diversos eventos tectónicos, resultado de procesos geodinámicos que afectaron al noroeste de México y el sureste de Estados Unidos. Estos son del más antiguo al más reciente:

- Orogenias paleozoicas evidenciadas por discordancias angulares existentes entre las secuencias paleozoicas y las mesozoicas, así como entre el Paleozoico inferior y el Paleozoico superior. La primera ocurrida a resultas del choque de Laurasia con Godwana al final del Paleozoico, generó las cadenas de los Apalaches y Ouachita, mientras que la segunda pudiera corresponder a la fase tectónica Taconiana de los Apalaches.
- 2) Orogenia Mesocretácica manifestada en el área por plegamiento cerrado y fallamiento inverso en las unidades del Grupo Bisbee. Rangin (1982), considera que esta orogenia se generó debido a la colisión de un arco volcánico insular contra el Arco Alisitos deformando las cuencas sedimentarias tras este último.

- 3) Orogenia Laramide representada en la región por plegamiento amplio y fallas inversas visibles en la Sierra de los Ajos y el Cerro Las Mesteñas. Esto se debe al cambio de velocidad de subducción de la Placa Farallón bajo la Placa Americana, que trajo consigo un aumento notable en la generación de magmas.
- 4) Episodio de distensión durante el Terciario Medio - Tardío responsable de la formación del Basin and Range, que caracteriza la fisiografía de la zona y cuya deformación formó una familia de fallas normales y fracturas NW 20 - 30° en una primera etapa y otra familia de fallas con orientación de N 0° a NW 10°, en una etapa posterior. Este episodio fue generado debido al cambio de tipo de margen de placa de una zona de subducción entre la Placa Americana y la Placa Farallón, a una de desplazamiento lateral derecho, entre la Placa Americana y la Placa Pacífico, al consumirse en subducción el rift que separaba la Placa Farallón de la Placa Pacífico, ocurrido a partir del Mioceno Tardío.
- 5) Neotectónica de distensión, probablemente asociada a la formación del rift del Río Grande, y que es responsable de la formación de la Falla Pitaycachi, cuyo movimiento en 1887 generó un devastador terremoto en la zona de Bavispe.

Los yacimientos minerales presentes en la carta son de tipo metálico y no metálico distribuyéndose en tres grandes regiones mineralizadas, las cuales a su vez pueden subdividirse en regiones y zonas mineralizadas.

La región de Nacozari (occidental), se caracteriza por la presencia de yacimientos tipo Pórfido Cuprífero representando la prolongación hacia el sureste del cinturón de pórfidos Wasatch -Jerome. Dentro de éstos destaca el yacimiento de La Caridad emplazado en rocas volcánicas e intrusivas del Cretácico Superior - Terciario Inferior y uno de los principales productores de cobre y molibdeno del país, estimándose reservas de un billón de toneladas con leyes promedio de 0.3% de cobre y 0.03% de molibdeno. Otros prospectos interesantes con afinidad a los pórfidos cupríferos se localizan en las zonas La Florida - Barrigón. Los Alisos, El Batamote y Bella Esperanza. En menor escala se manifiesta mineralización de plata - oro y polimetálicos en estructuras vetiformes, brechas y skarns, atractivas para la exploración.

La Región de Esqueda (este - central), se caracteriza por la abundancia de estructuras vetiformes asociadas a fallas y fracturas y, en menor escala, por depósitos de reemplazamiento en rocas carbonatadas. Esta región se ubica en el contexto metalogénico de la provincia epitermal de metales preciosos. Las principales manifestaciones de mineralización se concentran en el distrito de Pilares de Teras - El Tigre y la zona de Hachita Hueca, donde los elementos metálicos de importancia son plata, oro, plomo, zinc y cobre (sulfuros y oro libre). Los yacimientos no metálicos están representados principalmente por fluorita, diatomita, calizas y perlita.

La Región de Janos (nororiental) se distingue por el desarrollo de estructuras vetiformes encajonadas en rocas volcánicas y carbonatadas con mineralización de plomo - zinc y ganga de yeso - barita. Los desarrollos mineros se reducen a pequeñas catas. En la zona mineralizada San Pedro se presentan estructuras brechoides (brechas de falla) encajonadas en rocas volcánicas y cuya mineralogía consiste en óxidos de manganeso y fierro.

III.- DISCUSIÓN DE LA INTERPRETACIÓN REGIONAL

La información aeromagnética contenida en la carta, tiene un alcance de carácter regional, debido a la escala del mapa (1:250,000), en

donde a partir de los datos aeromagnéticos se interpretaron indirectamente rasgos geológicos del subsuelo, infiriendo la distribución y naturaleza de las rocas ocultas, tales como rocas sedimentarias y metamórficas, rocas volcánicas, fallas profundas y controles estructurales favorables para la presencia de depósitos minerales, rasgos obtenidos en base al contraste de susceptibilidad magnética de los materiales del subsuelo, originado éste, por la composición mineralógica de las rocas.

La interpretación cualitativa de la carta Nacozari, es de carácter regional en donde se indican los rasgos magnéticos principales, estos resultados están sujetos a discusión y se proporcionan como una base para análisis más profundos, de acuerdo con el objetivo y el uso de la información.

Para obtener información con más detalle en áreas específicas de interés seleccionadas en esta carta, resulta necesario llevar a cabo una interpretación cuantitativa, realizando cálculos y modelos que proporcionen datos de profundidad a la cima de los cuerpos magnéticos y espesores de las unidades más importantes, trabajando en mapas a escalas 1:50 000 ó 1:20 000, donde se seleccionarán sucesivamente áreas más reducidas en las cuales habrá que realizar trabajos de campo geológicos, geoquímicos y geofísicos a detalle.

III.1.- Dominios Magnéticos

En la carta magnética Nacozari H12-6, se identificaron 5 grupos de dominios magnéticos indicados con las letras A_1 , A_2 , B_1 , B_2 y C, diferenciados de acuerdo a su intensidad de magnetización, gradiente magnético y amplitud dipolar (Figura 2).

Es importante mencionar que el amplio volcanismo que se presenta en la carta, dificulta la identificación de posibles cuerpos ígneos

intrusivos (que pudieran encontrarse sepultados a profundidad). Esto es debido a la mayor susceptibilidad magnética que presentan las unidades volcánicas, por lo que en la presente interpretación se definió un número reducido de dominios magnéticos que se atribuyan a cuerpos intrusivos.

III.1.1.- Dominio Magnético A₁

Los dominios magnéticos A_1 se atribuyen generalmente a rocas intrusivas de composición félsica a intermedia, caracterizándose por presentar una respuesta con monopolos y dipolos magnéticos de moderada intensidad, la cual varía de -250 a 250 nT (nanoteslas).

Se detectaron 10 dominios magnéticos A₁ distribuidos dentro de la superficie que cubre la carta; la ubicación, características magnéticas y correlación geológica de estos dominios se muestra en la Tabla No. 1 y se describen a continuación algunos de ellos:

El dominio magnético A₁₋₁ se detectó en la porción norponiente de la carta. aproximadamente a 10 km al poniente del poblado de Fronteras. Este dominio presenta una respuesta magnética monopolar, de forma alargada, en una dirección preferencial N-S y una intensidad máxima de 10 nT. En superficie se correlaciona con las siguientes unidades geológicas: Esquisto Pinal, Granito Mesteñas, algunas unidades de rocas volcánicas cretácicas, así como con un cuerpo intrusivo granítico, con variaciones a granodioríta, del cretácico superior.

La respuesta magnética de este dominio se interpreta que es debida principalmente al cuerpo intrusivo cretácico, el cual define una posible continuación hacia el sur (de la porción que se encuentra aflorando), bajo la unidad de conglomerados y areniscas de la Formación Báucarit.

En la porción centro-norte de la carta, se detectó el dominio magnético A₁₋₇, el cual presenta una

respuesta magnética monopolar de hasta 140 nT. de intensidad; se correlaciona en superficie con areniscas y conglomerados y con un cuerpo ígneo pórfido monzonítico de edad cretácica, así como con conglomerados, areniscas, tobas riolíticas e ignimbríticas del terciario.

El dominio magnético detectado se considera que corresponde al comportamiento de un cuerpo ígneo a profundidad, el cual pudo haberse emplazado en una zona de debilidad, reflejada superficialmente por una amplia zona de falla de rumbo N-S.

Aproximadamente a 25 km al surponiente de Janos, Chih. se detectó el dominio magnético A₁₋₈, el cual presenta una forma alargada de aproximadamente 50 km de longitud, en una dirección preferencial NW-SE. Dicho dominio se correlaciona en superficie principalmente con un conglomerado polimíctico Cuaternario.

La respuesta magnética de este dominio se interpreta que corresponde a un cuerpo intrusivo a profundidad, al cual se pudieran estar relacionados las evidencias de mineralización de Au y Ag que se ubican en el margen norponiente del cuerpo interpretado.

Por otra parte, dicho intrusivo se encuentra definiendo el límite entre las subprovincias fisiográficas de Barrancas y de Sierras y Valles Paralelos.

III.1.2.- Dominio Magnético A₂

Los dominios magnéticos A_2 se atribuyen en general a rocas intrusivas de composición intermedia a máfica y en la presente carta se manifiestan por presentar anomalías magnéticas monopolares de alto gradiente y alta intensidad varía de 150 a 650 nT.

Se definieron 7 dominios A_2 dentro de la carta. La ubicación, características magnéticas y correlación geológica de estos dominios se

muestra en la Tabla No. 2, describiéndose a continuación algunos de éstos dominios.

En la porción surponiente de la carta, en las inmediaciones del poblado de Nacozari de García se detectó el dominio A₂₋₁, el cual presenta una forma alargada en una dirección preferencial NNW-SSE, (continuándose hacia el sur, dentro de la carta Madera H12-9), con una intensidad máxima de 500 nT.

La correlación geológica que presenta este dominio es principalmente con algunos afloramientos de un intrusivo (de edad Cretácico Superior- Terciario Inferior), así como con areniscas y conglomerados del Grupo Cabullona y rocas volcánicas andesíticas y riolíticas que constituyen la Sierra Madre Occidental.

La respuesta magnética que presenta este dominio se interpreta que corresponde a un amplio cuerpo intrusivo, el cual correspondería con el grupo intrusivo El Jaralito, propuesto por Grijalva -Noriega y Roldán Quintana (1998), el cual presenta variaciones en su composición litológica, variando de granito a granodioríta, y que sería el equivalente cenozoico del batolito laramídico de Sonora, definido por Damon y colaboradores (1983).

Asociados a este dominio magnético se encuentran los yacimientos minerales tipo pórfido cuprífero El Batamote y Florida-Barrigón, alojados en rocas intrusivas de composición granítica - granodiorítica (CRM, 1992). Dichos yacimientos se ubican en la porción poniente del cuerpo interpretado

El dominio A₂₋₃ se detectó en la porción norponiente de la carta, aproximadamente a 32 km al SW del poblado de Fronteras, presenta una respuesta magnética monopolar y una intensidad máxima de 350 nT. En superficie se correlaciona con el afloramiento de un cuerpo intrusivo granítico - granodiorítico de edad Cretácico-Terciario Inferior y con conglomerados

TABLA No. 1

Dominios Magnéticos A₁

Localización	Descripción	Correlación Geológica
A ₁₋₁ 12 Km al Poniente de Fronteras	 Respuesta magnética: monopolo Forma alargada en dirección N-S Intensidad máxima: 10 nT (vuelo a 300m) 	Afloramientos de un cuerpo intrusivo granítico precámbrico, cuerpo intrusivo granítico-granodiorítico del Cretácico Superior; esquistos precámbricos; areniscas, lutitas y conglomerados del grupo Cabullona, así como con el miembro de areniscas y conglomerados de la Formación Báucarit.
A ₁₋₂ 35 Km al Norte de Nacozari de García	 Respuesta magnética: monopolo Forma semicircular Intensidad máxima 150 nT (vuelo a 450m) 	Principalmente con conglomerado polimíctico cuaternario y aluvión.
A ₁₋₃ 35 Km al WSW de Fronteras	 Respuesta magnética: monopolo Forma irregular Intensidad máxima 150 nT (vuelo a 450m) 	Unidad de esquistos Pinal y parcialmente con un intrusivo granítico Precámbrico; así como con el miembro de conglomerados y basaltos de la Fm. Báucarit.
A ₁₋₄ 30 Km al SW de Fronteras	 Respuesta magnética: monopolo Forma semicircular Intensidad máxima: 80 nT(vuelo a 450m) 	Principalmente con el cuerpo intrusivo granítico de edad precámbrica.
A ₁₋₅ 30 Km al N del Poblado de Villa Hidalgo	 Respuesta magnética: monopolo Forma irregular Intensidad máxima: 100 nT (vuelo a 300m) 	Principalmente con tobas riolíticas e ignimbritas.
A ₁₋₆ 25 Km al NE del Poblado de Villa Hidalgo	 Respuesta magnética: monopolo Forma irregular Intensidad máxima: 80 nT (vuelo a 300m) 	Principalmente con tobas riolíticas e ignimbritas.
A ₁₋₇ 40 Km al ENE del poblado de Monte Verde	 Respuesta magnética: monopolo Forma semicircular Intensidad máxima 40 nT (vuelo a 300m) 	Afloramiento de un cuerpo pórfido monzonítico, así como con tobas riolíticas e ignimbritas, la unidad de conglomerados y areniscas de la Fm. Báucarit y rocas cretácicas del grupo Cabullona (areniscas y lutitas)
A ₁₋₈ 25 Km al SW del poblado de Janos	 Respuesta magnética: monopolo Forma alargada en dirección NW-SE Intensidad máxima: 50 nT (vuelo a 300m) 	Principalmente con conglomerado polimíctico cuaternario.
A ₁₋₉ 17 Km al N del poblado de Juárez	 Respuesta magnética: monopolo Forma semicircular Intensidad máxima: 25 nT (vuelo a 300m) 	Principalmente con tobas riolíticas e ignimbritas, así como con calizas y areniscas del paleozoico.
A ₁₋₁₀ 10 Km al NNE del poblado de Juárez	 Respuesta magnética: monopolo Forma irregular Intensidad máxima: 20 nT (vuelo a 300m) 	Principalmente con tobas riolíticas e ignimbritas, así como con calizas y areniscas del paleozoico.

Dominios Magnéticos A₂

Localización	Descripción	Correlación Geológica
A ₂₋₁ Inmediaciones del poblado de Nacozari de García	 Respuesta magnética: monopolo Forma alargada en dirección NW-SE Intensidad máxima: 500 nT (vuelo a 450m) 	Se correlaciona con algunos afloramientos de intrusivo cretácico, areniscas y conglomerados del Grupo Cabullona; así como rocas volcánicas andesíticas y riolíticas que constituyen la Sierra Madre Occidental.
A ₂₋₂ 10 Km al NE del poblado de Villa Hidalgo	 Respuesta magnética: monopolo Forma irregular Intensidad máxima 300 nT (vuelo a 300m) 	Principalmente con tobas riolíticas, ignimbritas, andesitas y tobas andesíticas.
A ₂₋₃ 32 Km al SW del poblado de Fronteras	 Respuesta magnética: monopolo Forma irregular Intensidad máxima 350 nT (vuelo a 450m) 	Se correlaciona parcialmente con el afloramiento de un intrusivo granítico- granodiorítico y areniscas de la Fm. Báucarit del terciario.
A ₂₋₄ 30 Km al SW de Nacozari de García	 Respuesta magnética: monopolo Forma irregular Intensidad máxima 300 nT (vuelo a 450m) 	Riolitas y tobas riolíticas, así como andesitas y tobas andesíticas.
A ₂₋₅ 45 Km al E de Villa Hidalgo	 Respuesta magnética: monopolo Forma irregular Intensidad máxima: 170 nT (vuelo a 300m) 	Principalmente con tobas riolíticas e ignimbritas.
A ₂₋₆ 50 Km al NE de Villa Hidalgo	 Respuesta magnética: monopolo Forma alargada en dirección N-S Intensidad máxima: 150 nT (vuelo a 300m) 	Parcialmente se correlaciona con afloramientos de un intrusivo granítico-granodiorítico, con ignimbritas, tobas riolíticas y andesíticas así como con conglomerados y areniscas.
A ₂₋₇ 30 Km al W de Monte Verde	 Respuesta magnética: monopolo Forma irregular Intensidad máxima: 650 nT (vuelo a 300m) 	Principalmente se correlaciona con tobas riolíticas e ignimbritas.

y areniscas de la Formación Báucarit del terciario.

La respuesta magnética que presenta este dominio se considera que corresponde al comportamiento del cuerpo intrusivo a profundidad, por la ubicación que presenta, sugiere ser la continuación hacia el norponiente del cuerpo interpretado anteriormente (dominio A_{2-1}).

En la porción norte de la carta, se detectó el dominio A_{2-7} , el cual presenta una respuesta monopolar, de forma irregular, con una intensidad máxima de 650 nT. La correlación geológica que presenta este dominio es principalmente con tobas riolíticas e ignimbritas.

En base a la respuesta magnética obtenida, se interpreta que este dominio puede corresponder a un cuerpo intrusivo o subvolcánico a profundidad, bajo la cubierta volcánica.

III.1.3.- Dominio Magnético B₁

El dominio magnético B₁, se atribuye generalmente a rocas volcánicas de composición félsica a intermedia, se caracteriza por presentar distorsiones, altos y bajos magnéticos que se agrupan formando zonas de bajo gradiente y baja intensidad magnética (-400 a 250 nT).

Este dominio se encuentra distribuido en toda la carta, manifestándose como un dominio magnético de fondo, debido a su gran extensión. Se correlaciona en superficie principalmente con tobas riolíticas, ignimbritas, unidades de conglomerados, areniscas y basaltos generalmente terciarios.

El amplio dominio detectado, se puede interpretar como parte del área de influencia del volcanismo (principalmente félsico) que caracteriza a la Sierra Madre Occidental.

Debido a la complejidad tectónica y estructural que presenta la carta, dentro de este dominio magnético no se descarta la presencia de volcanismo básico en menor proporción, ya sea en cuerpos de pequeñas dimensiones o poco espesor, de igual manera, algunos afloramientos de cuerpos no reflejan una respuesta magnética definida que permita diferenciarlos de las unidades volcánicas, esto es debido a la mayor susceptibilidad magnética que presentan las rocas volcánicas (dominios magnéticos B₁ y B₂), lo que ocasiona un enmascaramiento de la respuesta magnética de rocas intrusivas y/o sedimentarias.

III.1.4.- Dominio Magnético B₂

El dominio magnético B_2 se atribuye generalmente a rocas volcánicas de composición intermedia a máfica, está representado por monopolos y dipolos magnéticos, distribuidos en forma caótica, con intensidades que varían de -800 a 900 nT; presentan pequeña distancia dipolar y forman zonas de alto gradiente.

Este dominio se detectó distribuido en toda la carta, definiendo zonas de extensión limitada, las cuales se correlacionan principalmente con unidades de basaltos, riolitas, tobas riolíticas e ignimbritas.

Algunas de las diferentes unidades geológicas con las que se correlaciona este dominio magnético, debieron ser extruidas mediante diferentes mecanismos, tales como calderas, zonas de falla profundas o fisuras, asociadas a movimientos tectónicos. A tal respecto es importante señalar que se detectó un curvolineamiento dentro del dominio B_2 , el cual podría reflejar parte de esta actividad tectónica.

III.1.5.- Dominio Magnético C

El dominio magnético C está representado por distorsiones magnéticas suaves que forman zonas de bajo gradiente, presenta intensidades que varían de -400 a -100 nT. Se atribuye en general a rocas sedimentarias y metamórficas.

Este dominio se detectó distribuido principalmente en las porciones norte, centro y

surponiente de la carta, correlacionándose en superficie con unidades de calizas-areniscas paleozoicas, calizas-lutitas, areniscas-conglomerados cretácicos y conglomerados cuaternarios; también se correlaciona parcialmente con riolitas, tobas riolíticas y basaltos, calizas, areniscas, lutitas.

III.2.- Lineamientos Magnéticos

Los lineamientos magnéticos se representan en la figura 2 con líneas interrumpidas y se atribuyen a zonas de debilidad o fallas profundas, cuya manifestación superficial no es evidente en la mayoría de los casos, así como a contactos litológicos en algunas ocasiones.

Se detectaron tres sistemas principales de lineamientos magnéticos, los cuales presentan una orientación preferencial con rumbos N-S, NW-SE y NE-SW.

Los lineamientos mas ampliamente distribuidos son los de rumbo NW-SE, detectándose principalmente en la porción nororiental de la carta en donde se presenta como rasgo característico de la provincia de Cuencas y Sierras y que correspondería muy probablemente al sistema de fallamiento transforme, resultado de la Apertura del Golfo de California (Rodríguez T. y otros, 1993).

Los lineamientos de rumbo N-S, se definieron en la porción norponiente de la carta, al sur del poblado de Fronteras, en donde uno de estos lineamientos se correlaciona parcialmente con el río Fronteras. A pesar de que no se indica como fallamiento, resulta notoria la tendencia que presenta el dominio magnético A₂₋₆, interpretado como un cuerpo intrusivo, el cual debió emplazarse en una zona de debilidad que se refleja en superficie como una falla de aproximadamente 50 km de longitud (Palafox R. y otros, 1998).

Los lineamientos de rumbo NE-SW se detectaron principalmente en la porción oriente de la carta, delimitando zonas con volcanismo principalmente básico (dominios B₂).

Por otra parte, en la porción central de la carta se detectó un curvolineamiento magnético, el cual podría representar la respuesta de un centro volcánico, sirviendo de conducto para la extrusión de las unidades volcánicas presentes en esta zona y que son características de la Sierra Madre Occidental.

III.3.- Procesos Analíticos Realizados

Con la finalidad de realzar la información contenida en el mapa de Campo Magnético Total (CMT), se aplicaron algunos procesos analíticos a los datos aeromagnéticos, estos procesos consistieron en: reducción al polo, aplicación de un filtro pasabajas y primera derivada vertical; a partir de los cuales se generaron los siguientes mapas:

III.3.1.- Mapa de Estructuras Profundas

Se generó aplicando un filtro pasabajas al Campo Magnético Total (CMT) reducido al polo, considerando una frecuencia de corte de 0.04 ciclos/Km, tanto para el vuelo a 300 m.s.n.t. como para el vuelo a 450 m.s.n.t.

En este mapa se han eliminado las respuestas de alta frecuencia que son producidas por fuentes magnéticas superficiales, lo que permite visualizar la señal correspondiente a las bajas frecuencias, que son típicamente atribuidas a estructuras y cuerpos intrusivos profundos; por lo que es posible identificar levantamientos, depresiones y fallamientos del basamento magnético (Figura 3).

En este mapa es posible definir la continuación a profundidad de los intrusivos interpretados, observándose como respuestas integradas en los dominios A₂₋₁ y A₂₋₄, A₁₋₇ y A₂₋₇, A₂₋₅ y A₂₋₆.

III.3.2.- Mapa de Estructuras Superficiales

Se generó aplicando un filtro de primera derivada vertical al Campo Magnético Total (CMT) reducido al polo.

En este mapa se resaltan las altas frecuencias que son correlacionables con las fuentes magnéticas más someras, con lo que es posible definir los rasgos litoestructurales más superficiales (Figura 4).

Se definen claramente las tendencias NW-SE en las zonas cubiertas por rocas volcánicas en casi toda la carta, así como las respuestas de gradiente suave que se presentan asociadas principalmente a unidades metamórficas y sedimentarias.

III.4.- Zonas Prospectivas

De acuerdo con la interpretación regional del mapa aeromagnético, se seleccionaron 4 zonas prospectivas por mineralización polimetálica (Figura 5), las cuales se describen a continuación:

En la porción norponiente de la carta, se seleccionaron dos zonas prospectivas, en donde se detectaron los dominios A_{1-1} y A_{1-2} , interpretados en ambos casos como cuerpos intrusivos; en la porción norte del dominio A_{1-1} , existen evidencias de mineralización de Au y Ag asociadas a un cuerpo granítico-granodiorítico que aflora parcialmente.

Se recomienda la exploración de las zonas descritas, ya que la respuesta magnética del cuerpo interpretado indica su continuación hacia el sur, por lo que pueden existir mas depósitos minerales bajo la cubierta de conglomerados presente en estas zonas.

Otra zona de interés para la exploración se localiza en la porción oriente de la carta, definiéndose como una depresión magnética de rumbo NW-SE, de aproximadamente 80 km de longitud, dicha franja correspondería aproximadamente al límite oriente de la región mineralizada de Nacozari (Palafox R. y otros, 1998a), caracterizada por la presencia de yacimientos tipo pórfido cuprífero, por lo que se sugiere la exploración de esta zona, con la finalidad de obtener mayores indicios sobre la posible existencia de cuerpos minerales.

En la porción nororiente de la carta, al surponiente del poblado de Janos, se seleccionó una amplia zona prospectiva, asociada al dominio magnético A₁₋₈, interpretada como cuerpo intrusivo. En las inmediaciones de este dominio se tienen evidencias de mineralización de Au, Ag, Fe y Mn, por lo cual, se considera que todo el contacto marginal del cuerpo interpretado es de interés para la exploración, y así analizar las posibilidades de contener mineralización similar a la que se presenta en el distrito minero de San Pedro Corralitos (al oriente de la carta), en donde se tienen yacimientos en forma de mantos, chimeneas y vetas (CRM, 1994).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Briggs, I. C. 1974. Machine contouring using minimum curvature (spline), Geophysics. Vol. 39, No. 1, p. 32-42.

Consejo de Recursos Minerales, 1992. Monografía Geológico - Minera del Estado de Sonora. SEMIP, Publicación M-8e.

Consejo de Recursos Minerales, 1994. Monografía Geológico - Minera del Estado de Chihuahua. SEMIP, Publicación M-14e.

Damon, P. E. Shafiqullah, M. Roldán, J. y Cocheme, J. J. 1983. El Batolito Laramide (90-40 M. A.) de Sonora. Mem. XV Conv. Nal. AIMMGM, México, p. 63-95.

Grijalva Noriega F., Roldán Quintana J., 1998. An overview of the Cenozoic tectonic and magmatic evolution of Sonora northwestern Mexico. Revista mexicana de ciencias geológicas, vol. 15. núm. 2. p. 145 - 156.

IAGA, División V, Working Group 8 (R.A. Langel, Chairman), 1992, International Geomagnetic Reference Field, Revisión 1991: Geophysics, v. 57 Núm. 57, p. 956-959.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) 1980. Carta Topográfica Nacozari h12-6, escala 1:250,000, 1ª impresión.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) 1983. Carta Geológica Nacozari H12-6, escala 1:250,000, 1ª impresión.

Palafox R. J., Minjarez S. I., Monreal S. R., Almazán V. E., Morales M. M., Ochoa L. L., Rodríguez T. R., Rivera E. B., Castro E. J. y Zamora T. R., 1998. Carta Geológico - Minera Nacozari H12-6. Escala 1:250 000. Estados de Sonora y Chihuahua. Consejo de Recursos Minerales. SECOFI.

Palafox R. J., Minjarez S. I., Monreal S. R., Almazán V. E., Morales M. M., Ochoa L. L., Rodríguez T. R., Rivera E. B., Castro E. J. y Zamora T. R., 1998a. Informe Final Complementario a la Cartografía Geológico-Minera y Geoquímica. Carta Nacozari H12-6. Escala 1:250 000. Estados de Sonora y Chihuahua. Consejo de Recursos Minerales. SECOFI.

Rodríguez Torres R., Rodríguez Castañeda J., 1993. Sistemas de fallas en la provincia "Basin and Range" en Sonora central como resultado de la apertura del Golfo de California. III Simposio de Geología de Sonora y áreas adyacentes. UNAM. Instituto de Geología, UNI-SON. p. 108-109.

Urrutia F.J. and Campos E.J.O., 1993. Geomagnetic secular variation central Mexico since 1923 and comparision with 1945-1990. Models, Journal Geomag. Geoelect, v. 45, p. 1-7.









